着力实现海洋牧场建设的理念、装备、技术、管理现代化

杨红生[1,2*]　杨心愿[1,2]　林承刚[1]　张立斌[1]　许　强[3]

1 中国科学院海洋研究所 中国科学院海洋生态与环境科学重点实验室 青岛 266071

2 中国科学院大学 北京 100049

3 海南大学 南海海洋资源利用国家重点实验室 海口 570228

摘要　现代化海洋牧场建设是我国近海生态环境保护和海洋渔业健康发展的重要抓手。我国海洋牧场的建设理念不断深化，由投放人工鱼礁和放流资源生物，逐步过渡为改善海域环境和养护渔业资源。如今海洋牧场建设规模不断扩大，至今已完成64处国家级海洋牧场示范区建设。但如何实现现代化海洋牧场建设，仍然存在诸多问题亟待解决。文章从理念现代化、装备现代化、技术现代化、管理现代化4个方面论述了现代化海洋牧场的建设理念。针对我国温带和热带海域特点，基于陆海统筹蓝色粮仓建设的需求，提出了海洋牧场与集约化精准养殖场、海岸带生态农牧场、离岸深水智慧渔场融合发展新模式，以期为现有温带海域海洋牧场升级和热带海域海洋牧场的现代化建设提供参考。

关键词　现代化海洋牧场，集约化精准养殖场，海岸带生态农牧场，离岸深水智慧渔场

DOI　10.16418/j.issn.1000-3045.2018.07.010

海洋牧场是集环境保护、资源养护、高效生产和休闲渔业于一体的海洋产业新业态。现代海洋牧场建设得到党和国家的高度重视。2017年中央1号文件首次强调：支持集约化海水健康养殖，发展现代化海洋牧场，加强区域协同保护，合理控制近海捕捞。2018年中央1号文件再次强调：统筹海洋渔业资源开发，科学布局近远海养殖和远洋渔业，建设现代化海洋牧场。习近平总书记在庆祝海南建省办经济特区30周年大会上强调：要坚定走人海和谐、合作共赢的发展道路，提高海洋资源开发能力，加快培育新兴海洋产业，支持海南建设现代化海洋牧场。

现代化海洋牧场建设是海洋渔业转型升级和新旧动能转换的重要抓手，在创新驱动和政策导向的有力支持下，至今已建成64处国家级海洋牧场示范区。我国的海

* 通讯作者

资助项目：中国科学院2017年度“创新交叉团队”项目，泰山学者特聘专家计划，山东省科协智库高端人才团队调研课题

修改稿收到日期：2018年7月15日

洋牧场建设在蓬勃发展的同时，也暴露出概念不一、发展无序、技术不足等一系列问题，在技术创新、标准化建设、科学布局，规范管理等方面亟待实现现代化。

1 海洋牧场概念发展历程

海洋牧场自其概念提出以后，受到了沿海国家的普遍重视。海洋牧场的定义逐渐由单一到多元、由抽象到具体、由重生产到重生态的转变。不再将“增殖放流”或“投放鱼礁”等同于海洋牧场建设，而是融合种苗培育、生境改造、动态监测等多项切实可行的技术手段，在一定海域内营造健康的生态系统。

在半个多世纪的研究实践过程中，我国海洋牧场概念的内涵同样得到进一步发展[1,2]。水产行业标准《海洋牧场分类》（SC/T 9111-2017）将“海洋牧场”定义为基于海洋生态系统原理，在特定海域，通过人工鱼礁、增殖放流等措施，构建或修复海洋生物繁殖、生长、索饵或避敌所需的场所，增殖养护渔业资源，改善海域生态环境，实现渔业资源可持续利用的渔业模式。山东省地方标准《海洋牧场建设规范》（DB37/T 2982.1-2017）中也将“海洋牧场”定义为基于海洋生态学原理，利用现代工程技术，充分利用自然生产力，在一定海域内营造健康的生态系统，科学养护和管理生物资源而形成的人工渔场。由此可见，海洋牧场“现代化”的核心元素正逐步明晰[3-6]。

2 现代化海洋牧场建设理念

现代化海洋牧场建设包括了生境修复、苗种繁育、初级生产力提升、全过程管理、产品高值化利用、绿色能源利用、休闲渔业等一系列关键环节[7,8]，其特点突出体现在理念现代化、装备现代化、技术现代化和管理现代化4个方面。

2.1 建设理念现代化

（1）生态优先。在现有捕捞和养殖业面临诸多问题的背景下，海洋牧场作为一种新的产业形态，其发展有赖于健康的海洋生态系统，因此必须重视生境修复和资源恢复，根据承载力确定合理的建设规模，这是海洋牧场可持续发展的前提。目前，我国除了少数海洋牧场在设计中涉及对红树林、海草床、海藻场、牡蛎礁、珊瑚礁的修复，其他大多仍以增殖经济价值较高的水产品为目的，未能充分考虑环境和生态系统功能的恢复，对渔业资源种类的种群结构、遗传多样性的恢复等关注不足。若在海洋牧场建设中仍将提高产量作为首要目的，不仅会导致产品价格和品质的下降，更会对海洋牧场生态系统的稳定性造成不利影响，违背了可持续发展的建设理念。因此，“生态优先”理念必须在未来的现代化海洋牧场建设实践中作为第一要务加以重视。

（2）陆海统筹。海洋牧场在自然环境上可分为陆域和海域两大部分，分别承担着不同功能，海陆连通性的丧失不利于充分发挥海洋牧场的综合效益。海岸带生态系统属于典型的生态交错区，具有较高的生态活力，海洋牧场的建设必将带动海岸带的保护和开发工作。盐碱地生态农场的牧草和耐盐植物可作为滩涂生态农牧场的优质饲料，滩涂生态农牧场为浅海生态牧场的增殖放流工作提供了大量健康苗种，浅海生态牧场又通过海水肥料的生产促进盐碱地生态农场的建设，文化产业和生态旅游业则进一步加强了海岸带生态农牧场的内在联系。最终形成盐碱地生态农场-滩涂生态农牧场-浅海生态牧场“三场连通”，水产品生产-精深加工-休闲渔业等“三产融合”的现代化海洋牧场架构。该模式将有利于带动海岸带生物资源的合理利用，建立覆盖陆海的海岸带生态系统保护和持续利用新模式，促进我国沿海生态文明建设和社会可持续发展。

（3）人海和谐。海洋逐渐成为维持人类生存和发展的重要自然条件，大量人口聚集在沿海地区，在推动经济发展和社会进步的同时，也引发了一系列生态危机。人海和谐要求人类重新思考人与海、人与人之间的关系，以平等、友善、全面的态度对待海洋，形成人海和谐共生的文化根基。在经济价值层面，必须杜绝对海洋

资源的掠夺式开发，坚持将生态文明建设融入海洋经济发展的全过程中去，通过推动海洋科技进步实现海洋经济可持续发展。在社会价值层面，主张公平分配海洋利益，协调海洋区域与陆地区域、沿海国与内陆国之间的社会发展，协调人际与代际的发展。在生态价值层面，主张人与自然建立一种和睦的、平等的、协调发展的新型关系，实现思维方式的转变，善待自己赖以生存的环境，生态环境保护与经济发展并重，在保护中开发，在开发中保护，使社会主动适应环境，最终实现人、地、海的和谐发展。

（4）功能多元。水产优质蛋白的获取只是海洋牧场诸多功能之一。现代化海洋牧场建设更加重视功能的多元化。海洋牧场是自然环境、社会环境和人类相互作用所构成的整体，其生态系统组成结构的多样性决定了海洋牧场是具备多元功能的综合体。海洋牧场建设的首要前提是在一定海域范围内营造健康的生态系统，藻类移殖和鱼礁投放是改善海洋环境的重要手段。大型藻类在 6 米以浅的海域迅速增殖形成人工海藻林，具备净化水体环境、补充食物来源、提供栖息场所等生态功能，以天然饵料为食的小型鱼虾类等饵料生物聚集，吸引其他经济野生海洋生物，从而达到恢复渔业资源、提高渔业产品品质的目的。海洋牧场建设融合清洁可再生能源建设、海水综合利用、盐碱地耐盐植物栽培利用，可最大限度利用海岸带环境和空间资源，提高海洋产能。海洋牧场建设成熟后，可以充分利用生态环境和生物资源，开展海上观光旅游、垂钓、海底潜水、疗养等海洋第三产业，吸引牧场周边人群参与到海洋牧场的运营中来，打造新型的海岸带绿色田园综合体，充分共享海洋牧场带来的科学、生态、经济和社会价值。

2.2 建设装备现代化

（1）工程化。海洋牧场建设是一项综合工程，涵盖海洋生态、渔业管理、土木工程、电子通信等多项学科背景，在具体实践过程中必须突出“工程化”概念。以投放人工鱼礁为例，其制作、规划、管理等工作应形成一项系统工程，各个环节不可决然割裂。充分考虑人工鱼礁材质和结构的可靠性和安全性，杜绝材料或设计问题对海洋环境造成负面影响；投礁过程应参照相关工程项目制定对应的标准规范，形成人工鱼礁的合理布局，充分发挥其资源养护的生态功能；人工鱼礁的管理工作同样不容忽视，应结合实时监测手段，通过环境因子和鱼类行为特征完成综合评估工作，并为后续工作的调整提供参考。

（2）自动化。为实现海洋牧场的全链条布局，必须建立从监测、评价、预警、预报到溯源、管理的海洋牧场综合保障体系。建立信息化监测中心，科学设置水下摄像头、水质监测探头等监测设备，对牧场水域的温度、盐度、pH 值等环境参数进行测定，实时记录牧场内各项环境理化指标及海洋生物的动态。通过科学建模，建立并完善海洋牧场建设效果评价技术，对海洋牧场的运转状态进行科学评估，在发生异常情况前能够及时进行预判、预报。同时，构建海洋牧场产品生产全程质量安全追溯和管理体系，综合保障牧场的平稳运营。

2.3 建设技术现代化

（1）注重种质保护。“国以农为本，农以种为先”。优质的海洋生物种质资源是海洋牧场发展的重要基础，系统研究种质保存原理和关键技术，形成搜集、整理、鉴定、保护、保存和合理利用的完整体系。完善原种场建设技术，原种场建设与良种场建设并重是实现海洋牧场物种资源多元化与特色化的关键。建立种质资源保护区、开展本地种人工繁殖放流、避免过度近交与基因污染，科学评估相关原种场内的种群容纳量，基于种群结构制定科学的休渔制度与捕捞计划，以消除过度捕捞的隐患。

（2）聚焦生境修复。创新海藻场和海草床修复技术，建立海藻场和海草床的物质能量流动模型，分析海藻场和海草床生物涵养机理。突破流场营造技术，揭示流场与生物分布、饵料环境间相互关系。利用环流生态特点创新性地形成基于水体交换的工程学改良技术，建

立生物、微生物改良技术体系，形成底质环境改良系列方法。发展修复区域选择技术，研发放流幼体成活率提高、幼体保活运输相关技术装备。

（3）利用信息技术。获取环境全要素信息，我国海洋牧场信息网络的建立还处于初级阶段，无法做到实时监控和信息化管理。构建基于物联网技术的水体环境在线监测系统，实现对水温、盐度、溶氧、叶绿素等海水环境关键因子的立体实时在线监测。亟待突破生物远程可视化监控、驯化及追踪技术，必须高度重视发展生物资源声学探测与评估、特定鱼种声学行为控制与驯化。集成海洋牧场生态环境与生物信息数据库，建立预报预警系统和专家决策系统，形成针对对象物种生物耐受极限的海洋牧场环境灾害预警机制，构建灾害预警管理平台。

（4）开发清洁能源。海洋能是一种具有巨大发掘潜力的可再生能源，而且清洁无污染，但地域性强，能量密度低，现阶段可以广泛利用的主要是海上风能。当前，沿海部分省份在海上风电建设方面已开展了前瞻布局。根据德国、荷兰等发达国家的成熟经验和我国其他省份的做法，海洋牧场和海上风电的有效结合能发挥出巨大的空间集约效应，可有效推动环境保护、资源养护和新能源开发的融合发展，带动太阳能、潮汐能等清洁能源的开发利用，必将产生更大的生态、社会和经济效益。

2.4 建设管理现代化

传统的海洋牧场管理多以经济需求为先导，以生产经验为基础，缺乏系统性、科学性。现代化海洋牧场的管理应包括“规范化、信息化、智能化、体系化”等部分，实现人与海洋的和谐共处。

（1）规范化。从明确海域使用权和维护投资者的权益出发，亟须加强相关法律条文的建设和实施。根据沿海各省市的海域环境和资源状况，以海洋牧场的建设和运行管理特点为依据，建立健全相关法律法规。针对我国海洋牧场建设发展的现实需要，全面落实国家生态环境保护等相关政策，确保现有政策法规的充分有效实施。通过制定相关政策法规，积极推进财税制度配套改革，引导海洋牧场的合理建设和发展。与此同时，加强海洋生态文明理念的宣传力度，使相关法律法规深入人心，以保证海洋牧场建设的顺利推动。

（2）信息化。探索建设信息化海洋牧场是顺应时代发展的必然选择。现代化海洋牧场运营过程中需要多个运营单元的协调，包括牧场选址、地质、物理和生物海洋数据获取、生物承载力评估、牧场布局、鱼礁研制与布放、生物现场观测、生态安全和环境保障、产品资源量预测和采捕策略、效益评价等。随着科技进步，信息化在各行各业展现出了巨大的发展潜力。信息化、数字化、智慧化正逐渐渗透到海洋牧场建设和管理过程之中。引入信息化管理，能够有效提高生产效率，减少环境影响，提高食品质量安全等。

（3）智能化。计算机大数据挖掘技术的诞生和逐步成熟，为海洋牧场建设管理智能化提供了技术支撑[9]。依托于长期积累的海洋牧场运营数据，通过科学的算法建模，不仅能科学有效评估海洋牧场当前的运转状态，也能对下一步的变动趋势进行预判，从而帮助经营者更好地控制成本投入、规避风险损失、提高产品质量。由此可见，海洋牧场的智能化可以更好地平衡海洋牧场的经济效益、社会效益和环境效益，优化海洋牧场生产要素组成、生产流程和最终产品质量，促进海洋牧场自身扩张繁衍的可持续性，为经营者及海洋牧场所依托海域的生态环境带来更好的效益。

（4）体系化。海洋牧场建设是一项功在当代、利在千秋的事业，必须从政策引领和资金支持等方面给予高度重视。对于海洋牧场的建设，包括牧场选址、布局、设施建设、投放，以及海域资源的开发利用和运营管理都必须事先规划和考证，按照既定计划，有组织地推进，其中最为关键的环节是体系化组织管理。政府职能部门和经营企业共同制定海洋牧场发展目标，落实工作责任，明确保障措施，健全考核机制，严格考核奖惩，

同时建立专家咨询制度，聘请专家对重点项目进行评审论证，促进决策科学化、民主化，做到陆海统筹、综合考虑、合理布局，确保海洋牧场建设任务圆满完成。

3 现代化海洋牧场建设途径

3.1 打造温带海域海洋牧场升级版

蓝色粮仓是传统渔业在国民经济发展中的重新定位，与农、林、牧业共同构成陆海统筹的国家粮食安全保障体系。蓝色粮仓以拓展我国粮食安全战略的深度和广度为目标，从陆海统筹的视角，利用海洋和内陆水域空间和资源，按照“陆海并进+走向深蓝”的建设途径，构建基于生态优先、优质高效和持续供给的水产品生产系统。

积极推进集约化精准养殖场+海岸带生态农牧场建设。在生态优先、绿色发展的前提下，开展工厂化和池塘集约化精准养殖技术体系和模式的创新，加快推进海岸带生态农牧场建设，即基于生态学原理，利用现代工程技术，陆海统筹构建盐碱地生态农场、滩涂生态农牧场和浅海生态牧场，营造健康的海岸带生态系统，形成“三场连通”和“三产融合”的海岸带保护和持续利用新模式[10]。

稳步推进海洋牧场+离岸深水智慧渔场建设。在开展近海区域现代化海洋牧场建设的同时，积极发展离岸深水智慧渔场新模式，以大型养殖工船为基站，布局深海网箱设施，构建深远海工业化养殖模式，发展安全、高效渔船装备，建立渔业物流大通道，形成海洋牧场+“养捕加”一体化渔业新模式，强化军民融合“屯渔戍边”能力。

3.2 开创热带海域海洋牧场建设新局面

目前，我国 64 个国家级海洋牧场示范区主要集中在环黄渤海的山东、辽宁、河北等地，而南海海域只有 9 个，且均在亚热带海域，我国广阔的热带海域国家级海洋牧场示范区建设几近空白。南海热带海域渔业资源十分丰富，渔业港湾较多，有较强的渔业从业人员基础，休闲渔业较为发达，具有开展海洋牧场建设得天独厚的条件。

热带海域现代化海洋牧场建设亟待解决一系列科学及技术问题。一是缺少高值海产品增养殖产业，因此需要寻求其他适宜的驱动因素，如发展潜水观光、休闲旅游等；二是高温、高盐、高湿、台风等海况条件复杂，相关地质、水文数据缺乏。

热带海域现代化海洋牧场建设应依托于系列原理与技术的创新与研发，例如珊瑚礁生态系统养护与恢复、耐腐蚀材料开发与应用、原位礁体制作工艺、资源生物筛选与高效增殖、海产品长期保鲜或快速加工、资源环境智能化监测评价等技术，以及生态旅游发展模式等。在系统分析南海资源与环境、产业特征和发展趋势的基础上，建议开展岛礁资源养护与增殖型海洋牧场、岛礁休闲旅游型海洋牧场、热带海域海岸带生态农牧场建设，以点带面推进热带海洋牧场现代化建设。

岛礁资源养护与增殖型海洋牧场。以获取优质海产品资源为建设目标，以热带珊瑚礁海域为建设区域，养护、修复原有珊瑚礁生态系统，适当投放人工鱼礁和抗风浪网箱等辅助设施，筛选适宜经济种类，开展资源增养殖。

岛礁休闲旅游型海洋牧场。以发展海洋休闲旅游业为建设目标；选择基础设施条件好的岛礁，开展珊瑚礁生态系统养护、集鱼型人工鱼礁区建设及景观型人工鱼礁布放，养护恢复鱼类资源；开展高值经济鱼类增殖放流，配建陆基或船基旅游保障单元和海上旅游，发展游钓、潜水等旅游产业。

热带海域海岸带生态农牧场。以海南省农垦系统的产业布局为基础，集成盐碱地生态农场、滩涂生态农牧场和浅海生态牧场关键技术，实现“三场连通”和“三产融合”，提升海岸带空间开发利用效率和综合效益。主要类型可包括海湾型、红树林型、珊瑚礁型（包括人工岛礁），同步发展耐盐植物种植、畜牧水产增养殖、资源保护、精深加工、生态旅游、文化产业等。

4 结语

海洋牧场建设是生态系统恢复和重建的过程，即"先场后牧"，综合效益突出体现在生态系统保护、资源养护和经济效益。现代化海洋牧场建设必须在系统调查评估的基础上，科学规划、布局，合理收获和综合管理，方见成效。必须拓展海洋牧场发展空间与产业布局，充分实现集约化精准养殖场、海岸带生态农牧场、离岸深水智慧渔场的融合发展。现代化海洋牧场要着力打造理念现代化、设备现代化、技术现代化和管理现代化的代表性特征，建设运营过程亟待原创驱动、技术先导和工程实施，突破一系列重大科学问题和技术瓶颈，才能实现现代化海洋牧场建设。

参考文献

1 曾呈奎. 海洋农牧化大有可为. 科技进步与对策, 1985, 2(2): 9-10.

2 曾呈奎, 徐恭昭. 海洋牧业的理论与实践. 海洋科学,1981, 5(1): 1-6.

3 陈永茂, 李晓娟, 傅恩波. 中国未来的渔业模式——建设海洋牧场. 资源开发与市场, 2000, 16(2): 78-79.

4 张国胜, 陈勇, 张沛东, 等. 中国海域建设海洋牧场的意义及可行性. 大连水产学院学报, 2003, 18(2): 141-144.

5 阙华勇, 陈勇, 张秀梅, 等. 现代海洋牧场建设的现状与发展对策. 中国工程科学, 2016, 18(3): 79-84.

6 李波. 关于中国海洋牧场建设的问题研究. 青岛: 中国海洋大学, 2012.

7 杨红生. 我国海洋牧场建设回顾与展望. 水产学报, 2016, 40(7): 1133-1140.

8 杨红生, 霍达, 许强. 现代海洋牧场建设之我见. 海洋与湖沼, 2016, 47(6): 1069-1074.

9 王恩辰, 韩立民. 浅析智慧海洋牧场的概念、特征及体系架构. 中国渔业经济, 2015, 33(2): 11-15.

10 杨红生. 海岸带生态农牧场新模式构建设想与途径——以黄河三角洲为例. 中国科学院院刊, 2017, 32(10): 1111-1117.

Strive to Realize Modernization of Concept, Equipment, Technology, and Management of Modern Marince Ranching Development

YANG Hongsheng[1,2*] YANG Xinyuan[1,2] LIN Chenggang[1] ZHANG Libin[1] XU Qiang[3]

（1 Key Laboratory of Marine Ecology and Environmental Sciences, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China;

2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3 Hainan University, State Key Laboratory of Marine Resource Utilization in South China Sea, Haikou 570228, China）

Abstract Modern marine ranching should be given high priority for environmental protection and marine fishery health in coastal areas. The approach of Chinese marine ranching is continuously developing. It was transferred from artificial reef construction and stock enhancement to the improvement of the marine environment and conservation of fishery resources. Chinese marine ranching is vigorously developing, 64 national marine ranching demonstration areas have been completed. At the same time, how to modernize the development of marine ranching is still an important problem to be solved. This paper discusses the construction system of modern marine ranching from four aspects: concept

*Corresponding author

modernization, equipment modernization, technology modernization, and management modernization. In view of the characteristics of the temperate and tropical sea in China and the demand for the construction of blue granary integrating the land and sea, the new system of marine ranching, intensive precise aquaculture, ecological farm and ranch in coastal zone, open sea smart fishing ground is put forward to upgrade the existing marine ranching in temperate sea area and provide reference for modern marine ranching in tropical sea area.

Keywords modern marine ranching, intensive precise aquaculture, ecological farm and ranch in coastal zone, open sea smart fishing ground



杨红生 中国科学院海洋所、中国科学院烟台海岸带所常务副所长，研究员、博士生导师，博士。中国海洋湖沼学会副理事长兼秘书长，棘皮动物分会理事长。2009年入选“新世纪百千万人才工程”国家级人选和“山东省有突出贡献的中青年专家”，2015年入选“泰山学者”特聘专家。长期从事养殖生态与养殖设施、生境修复与资源养护、刺参生物学与遗传育种等研究。E-mail: hshyang@qdio.ac.cn

YANG Hongsheng Received B.Sc. degree from Huazhong Agricultural University of Aquaculture, and M.Sc. degree from Huazhong Agricultural University of Hydrobiology, Wuhan, in 1986 and 1989 repectively, and Ph.D. degree from Ocean University of China of Aquaculture, Qingdao, in 1996. He is currently the Professor, doctorial supervisor, and executive deputy director of Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences (CAS) and Yantai Institute of Coastal Zone Research, CAS. He also serves as the vice President and secretary general of Chinese Society for Oceanology and Limnology, and the president of Echinoderm Branch. He was awarded “New Century Millions of Talents Project” National Candidate in 2010, “Outstanding Contribution Expert of Shandong” in 2010, and “Distinguished Expert of Taishan Scholar” in 2015. He has been focusing on the research in aquacultural ecology and facility, habitat restoration and resource conservation, biology and selective breeding of sea cucumber, etc. E-mail: hshyang@qdio.ac.cn

■责任编辑：张帆